

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/014087

A. CLASSIFICATION OF SUBJECT MATTER

Int.Cl⁷ H01L33/00, H01L21/205

According to International Patent Classification (IPC) or to both national classification and IPC

B. FIELDS SEARCHED

Minimum documentation searched (classification system followed by classification symbols)

Int.Cl⁷ H01L33/00

Documentation searched other than minimum documentation to the extent that such documents are included in the fields searched

Jitsuyo Shinan Koho 1922-1996 Toroku Jitsuyo Shinan Koho 1994-2004

Kokai Jitsuyo Shinan Koho 1971-2004 Jitsuyo Shinan Toroku Koho 1996-2004

Electronic data base consulted during the international search (name of data base and, where practicable, search terms used)

C. DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
X	JP 2000-196152 A (Toshiba Corp.), 14 July, 2000 (14.07.00), Full text; Figs. 1, 6 to 9 & US 6495862 B1 & US 2003/0062530 A1	1, 2, 7, 10
P, X	JP 2003-318443 A (Sharp Corp.), 07 November, 2003 (07.11.03), Full text; Figs. 1, 4 to 7 & US 2003/0218179 A1	1, 2, 6-8, 10
X Y	JP 11-168236 A (Rohm Co., Ltd.), 22 June, 1999 (22.06.99), Full text; Figs. 1, 10, 11 (Family: none)	1, 6, 8 9

☒ Further documents are listed in the continuation of Box C.☐ See patent family annex.

* Special categories of cited documents:

"A" document defining the general state of the art which is not considered to be of particular relevance

"E" earlier application or patent but published on or after the international filing date

"L" document which may throw doubts on priority claim(s) or which is cited to establish the publication date of another citation or other special reason (as specified)

"O" document referring to an oral disclosure, use, exhibition or other means

"P" document published prior to the international filing date but later than the priority date claimed

"T" later document published after the international filing date or priority date and not in conflict with the application but cited to understand the principle or theory underlying the invention

"X" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered novel or cannot be considered to involve an inventive step when the document is taken alone

"Y" document of particular relevance; the claimed invention cannot be considered to involve an inventive step when the document is combined with one or more other such documents, such combination being obvious to a person skilled in the art

"&" document member of the same patent family

Date of the actual completion of the international search
09 December, 2004 (09.12.04)Date of mailing of the international search report
28 December, 2004 (28.12.04)Name and mailing address of the ISA/
Japanese Patent Office

Authorized officer

Facsimile No.

Telephone No.

INTERNATIONAL SEARCH REPORT

International application No.

PCT/JP2004/014087

C (Continuation). DOCUMENTS CONSIDERED TO BE RELEVANT

Category*	Citation of document, with indication, where appropriate, of the relevant passages	Relevant to claim No.
Y	JP 2003-069075 A (Nichia Chemical Industries, Ltd.), 07 March, 2003 (07.03.03), Full text; Figs. 1 to 4 (Family: none)	1-7, 10
Y	JP 10-041586 A (Sony Corp.), 13 February, 1998 (13.02.98), Par. Nos. [0034] to [0035]; Fig. 2 (Family: none)	1, 9
Y	JP 09-092878 A (Shin-Etsu Handotai Co., Ltd.), 04 April, 1997 (04.04.97), Par. Nos. [0021] to [0030]; Fig. 6 (Family: none)	1
A	JP 2002-222773 A (Matsushita Electric Industrial Co., Ltd.), 09 August, 2002 (09.08.02), Full text; Figs. 1, 3, 4 (Family: none)	11-22
A	JP 2003-282942 A (Sony Corp.), 03 October, 2003 (03.10.03), Par. Nos. [0053] to [0059]; Figs. 1, 6 & WO 2003/019678 A1 & US 2004/0048409 A1	1-22

A. 発明の属する分野の分類 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L33/00, H01L21/205

B. 調査を行った分野

調査を行った最小限資料 (国際特許分類 (IPC))

Int. Cl⁷ H01L33/00

最小限資料以外の資料で調査を行った分野に含まれるもの

日本国実用新案公報 1922-1996年
 日本国公開実用新案公報 1971-2004年
 日本国登録実用新案公報 1994-2004年
 日本国実用新案登録公報 1996-2004年

国際調査で使用した電子データベース (データベースの名称、調査に使用した用語)

C. 関連すると認められる文献

引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 2000-196152 A (株式会社東芝) 2000.07.14, 全文, 第1図, 第6-9図 & US 6 495862 B1 & US 2003/0062530 A1	1, 2, 7, 10
P, X	JP 2003-318443 A (シャープ株式会社) 2003.11.07, 全文, 図1, 図4-7 & US 200 3/0218179 A1	1, 2, 6- 8, 10

☒ C欄の続きにも文献が列挙されている。☐ パテントファミリーに関する別紙を参照。

* 引用文献のカテゴリー

「A」 特に関連のある文献ではなく、一般的技術水準を示すもの
 「E」 国際出願日前の出願または特許であるが、国際出願日以後に公表されたもの
 「L」 優先権主張に疑義を提起する文献又は他の文献の発行日若しくは他の特別な理由を確立するために引用する文献 (理由を付す)
 「O」 口頭による開示、使用、展示等に言及する文献
 「P」 国際出願日前で、かつ優先権の主張の基礎となる出願

の日の後に公表された文献
 「T」 国際出願日又は優先日後に公表された文献であって出願と矛盾するものではなく、発明の原理又は理論の理解のために引用するもの
 「X」 特に関連のある文献であって、当該文献のみで発明の新規性又は進歩性がないと考えられるもの
 「Y」 特に関連のある文献であって、当該文献と他の1以上の文献との、当業者にとって自明である組合せによって進歩性がないと考えられるもの
 「&」 同一パテントファミリー文献

国際調査を完了した日

09.12.2004

国際調査報告の発送日

28.12.2004

国際調査機関の名称及びあて先

日本国特許庁 (ISA/JP)
 郵便番号100-8915

東京都千代田区霞が関三丁目4番3号

特許庁審査官 (権限のある職員)

土屋 知久

2K

3412

電話番号 03-3581-1101 内線

C (続き) . 関連すると認められる文献		
引用文献の カテゴリー*	引用文献名 及び一部の箇所が関連するときは、その関連する箇所の表示	関連する 請求の範囲の番号
X	JP 11-168236 A (ローム株式会社)	1, 6, 8
Y	1999. 06. 22, 全文, 第1図, 第10図, 第11図 (ファミリーなし)	9
Y	JP 2003-069075 A (日亜化学工業株式会社)	1-7, 10
	2003. 03. 07, 全文, 図1-4 (ファミリーなし)	
Y	JP 10-041586 A (ソニー株式会社)	1, 9
	1998. 02. 13, 段落【0034】-【0035】, 図2 (ファミリーなし)	
Y	JP 09-092878 A (信越半導体株式会社)	1
	1997. 04. 04, 段落【0021】-【0030】, 図6 (ファミリーなし)	
A	JP 2002-222773 A (松下電器産業株式会社)	11-22
	2002. 08. 09, 全文, 図1, 図3, 図4 (ファミリーなし)	
A	JP 2003-282942 A (ソニー株式会社)	1-22
	2003. 10. 3, 段落【0053】-【0059】, 図1, 図6 & WO 2003/019678 A1 & US 2004/0048409 A1	

明 細 書

半導体発光素子及びその製造方法

技術分野

- [0001] 本発明は、例えば窒化物半導体等を用いて形成される半導体発光素子及びその製造方法に関する。

背景技術

- [0002] 窒化物半導体で形成された緑色から青色の発光ダイオード(LED)が実現されており、白色LEDへの応用に向けて、近年更に短波長のLEDの開発が進められている。
- [0003] こうした短波長のLEDを製造する際、一般に、サファイア基板の上に窒化ガリウム(GaN)から成る下地層を積層した後、下地層上に窒化物半導体を結晶成長させることによって活性層等を有する成長層を形成しており、結晶性の良い成長層を形成するためには、サファイア基板の上にGaNから成る下地層を形成することが必要不可欠となっている。
- [0004] ところが、窒化ガリウム(GaN)は波長360nmより短波長の光を吸収することから、成長層中の活性層で発生した光が素子外部へ出射する際、下地層で吸収されないようにするため、成長層から下地層が除去されている。
- [0005] 下地層としての窒化ガリウム層を除去する方法として、機械研磨によってサファイア基板と下地層とを成長層から除去したり、サファイア基板をレーザリフトオフによって除去した後、成長層から下地層をエッチング又は機械研磨によって除去する方法が提案されている。
- [0006] また、商品化されている窒化物半導体の青色LEDは、活性層で発生した光を、成長層の光取り出し面(p型層)に駆動電流供給用のp電極として設けられた平面状の透明電極または半透明電極を透過させて出射させたり、或いは平面状のサファイア基板側から出射させる構造となっている。
- [0007] しかし、このp電極として設けられた平面状の透明電極または半透明電極を透過させて光を出射させる構造の場合、窒化物半導体の屈折率は2.5程度で、例えば透

明電極として用いられるITOの屈折率も高いため、活性層で発生した光の多くが平面状の半導体／樹脂界面で反射されてしまい、光取り出し効率を向上させることが難しい。

[0008] また、平面状のサファイア基板側から光を出射させる構造の場合においても、活性層で発生した光の多くが、半導体／サファイア／樹脂界面で反射されてしまい、光取り出し効率を向上させることが難しい。

[0009] また、こうした光取り出し効率を向上させる手法として赤色を発光するGaP系LEDでは、その光取り出し面をウェットエッチングによって粗面化し、活性層で発生した光が粗面化した光取り出し面で反射し難くすることによって、光取り出し効率の向上を図ろうとする提案もなされている(特開2000-299494号公報、特開平4-3543824号公報)。

発明の開示

発明が解決しようとする課題

[0010] ところで、上述の機械研磨のみ、又はレーザリフトオフとエッチング又は機械研磨を行うことによって、成長層から下地層としての窒化ガリウム層を除去する方法では、大面積の下地層(窒化ガリウム層)全体を適切に除去することが難しいという問題がある。

[0011] また、窒化物半導体は化学的に安定であり機械的にも固いため、特開2000-299494号公報や特開平4-3543824号公報に開示されているようなウェットエッチングによってGaP系LEDの光取り出し面を粗面化することは困難を伴い、容易に光取り出し効率を向上させることができない。

[0012] また、サファイア基板の加工性は窒化物半導体以上に悪いので、半透明電極や透明電極による光吸収を避けようとして、サファイア基板側から光を取り出すようにした場合、表面を粗面化することで光取り出し効率を向上させることはできない。

[0013] 本発明は、こうした従来の問題に鑑みてなされたものであり、下地層を成長層から効率よく除去した半導体発光素子及びその半導体発光素子の製造方法を提供することを目的とする。

[0014] また、光取り出し効率を向上させる半導体発光素子及びその半導体発光素子の製

造方法を提供することを目的とする。

- [0015] また、下地層を成長層から効率よく除去し且つ光取り出し効率を向上させる半導体発光素子及びその半導体発光素子の製造方法を提供することを目的とする。

課題を解決するための手段

- [0016] 上記目的を達成するため、請求項1に記載の発明は、光を発生する活性層を少なくとも含む窒化物半導体から成る積層構造の発光構造層を備えた半導体発光素子であって、前記活性層からの光を素子外部へ取り出す主面側において前記発光構造層上に積層され、多数の微細な凹凸から成る表面を有する半導体層と、前記半導体層の少なくとも一部に形成された第1の電極と、前記主面に対する前記発光構造層の裏面側に形成された第2の電極とを具備することを特徴とする。
- [0017] 請求項2に記載の発明は、請求項1に記載の半導体発光素子において、前記微細な凹凸は、前記主面に対して傾斜する複数の微小平面により構成されていることを特徴とする。
- [0018] 請求項3に記載の発明は、請求項2に記載の半導体発光素子において、前記微細な凹凸は、逆六角錐形状の凹部から成ることを特徴とする。
- [0019] 請求項4に記載の発明は、請求項3に記載の半導体発光素子において、前記第1の主面は、窒化物半導体結晶の{0001}又は{000-1}面であり、前記逆六角錐状の各凹部は、実質的に窒化物半導体結晶の{1-101}面により構成されていることを特徴とする。
- [0020] 請求項5に記載の発明は、請求項2に記載の半導体発光素子において、前記第1の主面は、窒化物半導体結晶の{0001}又は{000-1}面であり、前記微細な凹凸は、実質的に窒化物半導体結晶の{11-22}面により構成されていることを特徴とする。
- [0021] 請求項6に記載の発明は、請求項1〜5の何れか1項に記載の半導体発光素子において、前記半導体層は、n型の窒化物半導体で形成され、前記発光構造層は、前記裏面側からp型の窒化物半導体から始まってn型の窒化物半導体で終わる前記多層構造により形成されていることを特徴とする。
- [0022] 請求項11に記載の発明は、半導体発光素子の製造方法であって、基板上に下地

層を形成する第1の工程と、前記下地層上に、多数の微細な開口部を有するマスクを形成する第2の工程と、前記各開口部での選択成長及び前記マスク上での横方向成長により、前記基板平面に対し傾斜した複数の微小平面により構成される多数の凸部を有する凹凸状の転写層を形成する第3の工程と、前記凹凸状の転写層上に、前記下地層及び前記転写層より小さいバンドギャップエネルギーを有する光吸収層を形成する第4の工程と、前記光吸収層上に、成長主面が平坦な平坦化層を形成する第5の工程と、前記平坦化層上に、少なくとも活性層を有する発光構造層を形成する第6の工程と、前記光吸収層に到達する光を前記基板の裏面側から照射することにより前記光吸収層を分解させ、前記平坦化層から前記基板と下地層及び転写層を剥離する第7の工程とを具備し、前記平坦化層を、前記活性層で発生する光を素子外部へ取り出す光取り出し面とすることを特徴とする。

[0023] 請求項12に記載の発明は、請求項11に記載の半導体発光素子の製造方法において、前記第5の工程において、前記平坦化層をn型の窒化物半導体で形成し、前記第6の工程において、前記発光構造層を、前記平坦化層側からn型の窒化物半導体から始まってp型の窒化物半導体で終わる多層構造により形成することを特徴とする。

[0024] 請求項13に記載の発明は、請求項11又は12に記載の半導体発光素子の製造方法において、前記下地層、前記転写層、前記光吸収層、前記平坦化層及び前記発光構造層は、V族元素が窒素(N)からなる窒化物系III-V族化合物半導体であることを特徴とする。

[0025] 請求項14に記載の発明は、請求項11～13の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法において、前記光吸収層は、InGaNであることを特徴とする。

[0026] 請求項15に記載の発明は、請求項11～14の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法において、前記基板は、主面が{0001}面であるサファイア、GaN、AlN、SiCのうちの何れかであることを特徴とする。

[0027] 請求項16に記載の発明は、請求項11～15の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法であって、前記第2の工程において前記マスクの開口部を、最近接の開口部が前記下地層の〈1-100〉方向に位置し、全ての開口部の中心が六角回

対称中心となるように形成することを特徴とする。

[0028] 請求項17に記載の発明は、請求項11～15の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法であって、前記第2の工程において、前記マスクの開口部を、前記下地層の結晶軸〈1-100〉又は〈11-20〉と平行のストライプ形状に形成することを特徴とする。

[0029] 請求項18に記載の発明は、請求項11～17の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法であって、前記光吸収層は、非発光性の再結合中心となる不純物を含む半導体、または間接遷移型の半導体であることを特徴とする。

[0030] 請求項19に記載の発明は、請求項11～18の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法であって、前記第7の工程において、前記基板の裏面側から照射する光のエネルギーは、前記下地層及び前記転写層のバンドギャップエネルギーより小さく、前記光吸収層のバンドギャップエネルギーより大きいことを特徴とする。

[0031] 請求項20に記載の発明は、請求項11～19の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法であって、前記第7の工程において、前記基板の裏面側から照射される光の波長は、360nm以上であることを特徴とする。

図面の簡単な説明

[0032] [図1]本発明を実施するための最良の形態としての半導体発光素子の構造及び製造方法を表した図である。

[図2]第1の実施例に係る半導体発光素子の製造方法を表した図である。

[図3]図2に示した製造方法に続く、第1の実施例に係る半導体発光素子の製造方法を表した図である。

[図4]図3に示した製造方法に続く、第1の実施例に係る半導体発光素子の製造方法を表した図である。

[図5]図4に示した製造方法に続く、第1の実施例に係る半導体発光素子の製造方法を表した図である。

[図6]第2の実施例に係る半導体発光素子の製造方法を表した図である。

[図7]第3の実施例に係る半導体発光素子の製造方法を表した図である。

発明を実施するための最良の形態

[0033] 以下、発明を実施するための最良の形態について図1を参照して説明する。

[0034] 図1(a)は、本半導体発光素子の構造を模式的に表した斜視図、図1(b)～(e)は、本半導体発光素子の製造方法を模式的に表した縦断面図である。

[0035] 同図(a)において、この半導体発光素子1は、表面に電極層3aが形成された支持基板2と、表面に電極層5、裏面にオーミック電極層3bが形成された成長層4とを備え、融着等によって接着された電極層3aとオーミック電極層3bを介して、支持基板2の表面上に成長層4が一体に固着された構造を有している。

[0036] 成長層4は、コンタクト層とクラッド層と活性層とを有する発光構造層DLYと、光取り出し面としての平坦化層CLYとが積層された多層構造を有し、これら発光構造層DLYと平坦化層CLYは、V族元素が窒素(N)から成る窒化物系III-V族化合物半導体を積層することによって形成されている。

[0037] 平坦化層CLYの表面は、多数の微細な凹部が高密度で形成された構造となっており、より具体的には、多数の微細な逆六角錐形状の凹部が全面に高密度で形成された構造となっている。そして、平坦化層CLYの上記凹部によって凹凸状となっている表面の一部に、例えば図示するような対角を結ぶクロス形状の電極層5が形成されている。

[0038] かかる構造を有する半導体発光素子1において、オーミック電極層3bに接合している電極層3aと、平坦化層CLY側に設けられている電極層5との間に外部から駆動電流を供給すると、その駆動電流が平坦化層CLYを通して発光構造層DLY中の活性層に流入し、該活性層から短波長の光が発生する。そして、活性層から発せられた短波長の光が、凹凸状となっている平坦化層CLYの表面から素子外部へ出射する。すなわち、半導体発光素子1は、面発光型の素子構造を有している。

[0039] 次に、本半導体発光素子1の製造方法を図1(b)～(e)を参照して説明する。

[0040] まず、図1(b)に示す工程において、サファイア、GaN、AlN、SiCの何れかの材料で形成された基板SSB上に、MOCVD法等によって、窒化ガリウム(GaN)から成る下地層ALYを積層し、次に、多数の微細な凹凸部を有した窒化ガリウム(GaN)から成る転写層TLYを形成する。より具体的には、傾斜面bを有する微細な六角錐形状(好ましくは正六角錐)の凸部aを面方向に高密度で多数形成することによって、凹凸

状の表面を有し窒化ガリウム(GaN)から成る転写層TLYを、下地層ALY上に形成する。

[0041] 更に、転写層TLYの凹凸状の表面に、MOCVD法等によって、非発光性の再結合中心となる不純物を含んだ $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (但し、 $x > 0.5$)、又は、下地層ALY及び転写層TLYよりエネルギーギャップが小さく間接遷移型の半導体を積層することによって、転写層TLYの表面形状に合わせて凹凸状となる光吸収層BLYを形成する。

[0042] 引き続き、光吸収層BLYの表面に、平坦化層CLYと発光構造層DLYとから成る上述の成長層4を形成する。すなわち、光吸収層BLYの表面に、窒化物系III-V族化合物半導体(具体的には、n型AlGaIn)から成る平坦化層CLYを積層した後、平坦化層CLYの平坦な表面上に、所定の組成の窒化物系III-V族化合物半導体を結晶成長させることによって、活性層とクラッド層とコンタクト層とを有する多層構造の発光構造層DLYを積層する。

[0043] この発光構造層DLYを積層する際、平坦化層CLY側をn型の層にして積層を開始しp型のコンタクト層で積層を完了することで、発光構造層DLYの各層を形成する。

[0044] 次に、発光構造層DLY上の全面にオーミック電極層3bを形成することによって、基板SSB上に下地層ALYと転写層TLY、光吸収層BLY、平坦化層CLY、発光構造層DLY及びオーミック電極層3bを有した中間生成体100を作製する。

[0045] また、上述の中間生成体100とは別個に、支持基板2の表面全体に駆動電流供給用の電極層3aを形成した中間生成体200を作製しておき、この中間生成体200の電極層3aと中間生成体100のオーミック電極層3bとを融着等によって接着させることにより、図1(b)に示すように中間生成体100, 200を一体に固着させる。

[0046] 次に、図1(c)に示す工程において、下地層ALYと転写層TLYの夫々のバンドギャップエネルギーよりも小さく、光吸収層BLYのバンドギャップエネルギーより大きいエネルギーの光を、基板SSBの裏面側から光吸収層BLYに向けて照射する。例えば、基板SSBをサファイア基板とし、光吸収層BLYを $\text{In}_{0.5}\text{Ga}_{0.5}\text{N}$ で形成した場合、YAGレーザの2倍波(波長532nm)のレーザ光等を基板SSBの裏面側から照射する。

- [0047] かかるエネルギーの光を照射すると、その光は基板SSBと下地層ALY及び転写層TLYを透過し、光吸収層BLYで吸収されて熱に変換され、その熱によって光吸収層BLYがガスに分解する。なお、光吸収層BLYは、非発光性の再結合中心を含んでいるか、又は間接遷移型の半導体で構成すると、吸収した光がいつそう速やかに熱に変換されるので、より好ましい。
- [0048] 次に、基板SSBを剥離することによって、基板SSBと共に下地層ALYと転写層TLYとを、ガス化した光吸収層BLYの部分で剥離して、平坦化層CLYを露出させる。
- [0049] 次に、図1(d)に示す工程において、平坦化層CLY上に残存している光吸収層BLYの残滓をエッチングによって除去することにより、平坦化層CLYの表面を露出させる。
- [0050] ここで、光吸収層BLYと平坦化層CLYの界面は、上述した多数の微細な六角錐形状の凸部aによって凹凸状となっていたため、露出した平坦化層CLYの表面は、上述の多数の微細な六角錐形状の凸部aとは逆の形状、すなわち多数の微細な逆六角錐形状の凹部cを有する凹凸状に形成される。
- [0051] 次に、図1(e)に示す工程において、平坦化層CLYの凹凸状の表面の一部に、駆動電流を供給するための電極層5を積層することにより、本半導体発光素子1を完成する。例えば図1(a)に示したように、光取り出し面となる平坦化層CLYの表面の対角を結ぶクロス形状となるように電極層5を積層し、本半導体発光素子1を完成する。
- [0052] なお、説明の便宜上、1個の半導体発光素子1を製造する工程を代表して説明したが、実際には、図1(b)～(e)を参照して説明した第1～第3の製造工程において、基板(サファイア基板)SSB上に複数個の半導体発光素子1を製造するための処理を一括して行った後、支持基板2を裏面側からスクライビングして所定の大きさにチップ分割することにより、複数個の半導体発光素子1を一括形成している。
- [0053] このように、かかる構造を有する半導体発光素子1によると、光取り出し面となる平坦化層CLYの表面は、平坦ではなく、多数の微細な逆六角錐の凹部cが高密度で形成された凹凸状となっていることから、発光構造層DLY中の活性層で発生した光が該表面で反射して再び素子内部へ戻る割合を減少させることができ、光取り出し効率の向上を実現することが可能である。

- [0054] また、本半導体発光素子1は、図1(a)に示したように、n型の窒化物系III-V族化合物半導体(具体的には、n型AlGaIn)で形成された平坦化層CLYを光取り出し面とした構造となっていることから、平坦化層CLYの一部に電極層5を形成してその電極層5に駆動電流を供給しても、その駆動電流は平坦化層CLYのほぼ全体を流れて、発光構造層DLY中の活性層のほぼ全領域に流入する。このため、活性層のほぼ全領域で光が発生し、その発生した光が平坦化層CLYのほぼ全領域(光取り出し面の全領域)から素子外部へ出射することとなり、光取り出し効率の向上が可能である。
- [0055] つまり、n型の窒化物系III-V族化合物半導体は抵抗率が $10^{-3} \Omega \text{ cm}$ 程度と低抵抗であり、p型の窒化物半導体に較べて極めて低抵抗率である。このため、n型の窒化物系III-V族化合物半導体(具体的には、n型AlGaIn)から成る低抵抗率の平坦化層CLYの一部に形成された電極層5に駆動電流を供給すると、その駆動電流は、電極層5直下の平坦化層CLYの一部のみを流れるのではなく、平坦化層CLYのほぼ全体を流れて活性層のほぼ全領域に流入することから、活性層のほぼ全領域で光が発生し、その発生した光が平坦化層CLYのほぼ全領域(光取り出し面の全領域)から素子外部へ出射することとなり、光取り出し効率が向上する。
- [0056] ちなみに、光取り出し面がp型の窒化物半導体によって形成されていた従来のGaInN系LEDでは、p型の窒化物半導体が高抵抗であることから、駆動電流の活性層への注入拡散効率を向上させるための効果的な技法として、光取り出し面のほぼ全面に、金属薄膜の半透明電極あるいはITOなどの透明電極を形成することが一般的に行われていたが、本半導体発光素子1によれば、こうした従来の技法に拘泥することなく、形状や材質を選択して電極層5を形成することが可能となるため、設計の自由度を向上させることができるという効果も得られる。
- [0057] また、本実施形態の製造方法によれば、光取り出し面となる平坦化層CLYを容易にn型の窒化物系III-V族化合物半導体によって形成することができる。
- [0058] すなわち、図1(b)を参照して説明したように、基板SSB側に先に形成した光吸収層BLYの上面に、n型の窒化物系III-V族化合物半導体(具体的には、n型AlGaIn)から成る平坦化層CLYを形成し、次に発光構造層DLYを形成しているので、図1(c)(d)に示したように基板SSBを剥離して光吸収層BLYを除去するだけで、容易に平

平坦化層CLYを露出させて光取り出し面とすることができる。この結果、上述の光取り出し効率の向上、設計の自由度の向上等の効果が得られる他、量産性の向上を図ることができる。

[0059] また、本実施形態の製造方法とは異なった方法で、平坦化層CLYの表面を凹凸状に形成することも検討したが、歩止まりの低下を招く等の問題があり、本実施形態の製造方法の優位性が確認された。

[0060] 検討事例として、図1(b)に示した転写層TLYと光吸収層BLYを凹凸状に形成せず、単に平坦に形成しておき、図1(c)に示した基板SSBの裏面側から光を照射する際、その照射する光の強度を二次元平面内の各所で変化させて、光吸収層BLYと平坦化層CLYとの界面部分における各所の半導体の分解量及びその形状を調整し、基板SSBを剥離することによって平坦化層CLYの表面を凹凸状に加工するという製造方法を検討した。

[0061] しかしながら、このような製造方法では、光取り出し面の表面形状を常に均一な凹凸形状にすることが困難であるため、均一な放射分布、安定した光取り出し効率を有するいわゆる品質の揃った半導体発光素子を量産することが困難である。

[0062] これに対し、本実施形態の製造方法では、上述の多数の微細な凸部aを予め決められた配列に従って転写層TLYに形成しておき、それら多数の凸部aを平坦化層CLYの表面に正確に転写させることができるため、所望の放射分布、安定した光取り出し効率を得ることが可能ないわゆる品質の揃った半導体発光素子を量産することが可能であり、更に光取り出し効率の向上を実現することができる。

実施例 1

[0063] 次に、図1に示した半導体発光素子1のより具体的な実施例を図2～図5を参照して説明する。なお、図2～図5において、図1と同一又は相当する部分を同一符号で示している。

[0064] 本実施例の半導体発光素子1は、図1(a)に示したのと同様の外観構造を有し、図2～図5に示す製造工程によって作製されている。

[0065] 図2～図5を参照して、半導体発光素子1の製造工程と構造を説明すると、まず、{0001}面を主面とするサファイア基板SBBを用いて中間生成体100が作製されてい

る。

- [0066] すなわち、図2(a)の斜視図に示されているように、サファイア基板SSB上に、MOCVD法等によって、窒化ガリウム(GaN)から成る下地層ALYを積層した後、図2(b)の斜視図に示されているように、下地層ALY上に、スパッタリングによって、微細な多数の円形の開口部OPNを有する SiO_2 のマスクMSKを形成する。
- [0067] ここで、上述の多数の開口部OPNは、図2(d)及び図2(e)に示されているように、並進ベクトルが下地層ALYの結晶軸 $\langle 1-100 \rangle$ と平行である六角対称配置となるように形成し、夫々の円形の開口部OPNにおいて下地層ALYを露出させる。
- [0068] 次に、MOCVD法により、GaNをマスクMSKの開口部OPNにおける下地層ALY上に選択成長させると共に、マスクMSK上において横方向へも成長させる。
- [0069] このようにGaNを成長させると、図2(c)の斜視図に示されているように、GaN $\{1-101\}$ 面群で構成される六角錐形状の凸部aが、各円形開口部OPNを中心として形成される。
- [0070] 更に、GaNの成長を進めると、この六角錐形状を維持した状態で各凸部aのサイズが大きくなる。
- [0071] そして、互いに隣接した六角錐形状の凸部aの裾野が接触した状態で成長を停止させて、図2(d)に示すように、GaN $\{1-101\}$ 面群で構成された多数の六角錐形状の凸部aによって表面が凹凸状となる転写層TLYを形成する。
- [0072] 次に、図3(a)の縦断面図に模式的に示されているように、上述の凹凸状を有する転写層TLYの表面に、MOCVD法によって、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (但し、 $x > 0.5$)を積層することにより、上述の凹凸状に合わせられた凹凸状の光吸収層BLYを積層する。
- [0073] 更に、光吸収層BLYは、後述の波長360nm以上の光、好ましくはYAGレーザの2倍波(波長532nm)の光が照射される際、その光を吸収して熱に変換する材質とすべく、光吸収層BLY中に非発光性の再結合中心となる不純物、例えばカーボン(C)や鉄(Fe)をドーピングすると、より好ましい。
- [0074] 次に、図3(b)の縦断面図にて示されているように、MOCVD法によって、光吸収層BLY上に、SiをドーピングしたAlGaNを成長させて、その成長主面が平坦となる平坦化層CLYを形成する。

- [0075] 次に、図3(c)の縦断面図にて示されているように、MOCVD法によって、平坦化層CLY上に、 $\text{In}_x(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_{1-x}\text{N}$ (但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$) からなる活性層DLYaと、MgをドーピングしたAlGaInから成るクラッド層DLYbと、MgをドーピングしたAlGaInから成るコンタクト層DLYcを順次に積層することによって、図1(a)～(e)に示した発光構造層DLYを形成する。すなわち、各層DLYa、DLYb、DLYcと平坦化層CLYとによって成長層4を形成する。
- [0076] 更に、コンタクト層DLYcの表面に、Pd/Auのオーミック電極層3bを蒸着によって形成することにより、中間生成体100を作製する。
- [0077] 次に、図4(a)の断面図にて示されているように、予めAuSnの電極層3aが形成されている支持基板2のその電極層3aとオーミック電極層3bとを融着させることにより、中間生成体100と支持基板2とを一体に固着する。
- [0078] 更に、サファイア基板SSBの裏面側から光吸収層BLYに向けて、波長360nm以上の光、より具体的にはYAGレーザの2倍波(波長532nm)の光を照射する。
- [0079] かかる光を照射すると、その光はサファイア基板SSBを透過し、更に下地層ALYとマスクMSKと転写層TLYを通して光吸収層BLYに到達し、光吸収層BLYが光を熱に変換して加熱されることにより、分解する。
- [0080] 次に、図4(b)の断面図にて示されているように、サファイア基板SSBを剥離し、サファイア基板SSBに付随させて下地層ALYとマスクMSK及び転写層TLYを、ガス化した光吸収層BLYの部分で剥離する。
- [0081] 次に、図5(a)の断面図にて示されているように、上述のサファイア基板SSBを剥離した際、残存することとなった光吸収層BLYの残滓に対し、アルカリエッチャントを用いたウェットエッチングを施すことによって除去し、平坦化層CLYの表面を露出させる。
- [0082] これにより、平坦化層CLYには、転写層TLY及び光吸収層BLYの凹凸状が転写されたような凹凸状の表面が形成される。
- [0083] つまり、露出された平坦化層CLYの表面には、AlGaInの{1-101}面群で構成される微細な逆六角錐形状から成る多数の凹部cが形成されることにより、平坦化層CLYの表面が凹凸状となる。

- [0084] 次に、図5(b)の断面図にて示すように、凹凸状の平坦化層CLYの表面の一部に、電極層5を積層する。例えば、半導体発光素子の対角を結ぶクロス形状となるように電極層5を形成し、図1(a)に示したのと同様の半導体発光素子1を完成する。
- [0085] ここで、成長層4への電流注入の均一性を向上させるために、平坦化層CLYの表面全体にITOなどの透明電極を電極層5として形成してもよい。
- [0086] なお、説明の便宜上、1個の半導体発光素子1を作製する工程を代表して説明したが、実際には、図2～図5を参照して説明した製造工程において、サファイア基板SSB上に複数個の半導体発光素子1を作製するための処理を行った後、支持基板2を裏面側からスクライビングして所定の大きさに分割することによって、予め決められた大きさの半導体発光素子1を複数個形成する。
- [0087] そして、電極層3a、5間に駆動電流を供給すると、成長層4内の活性層DLYaから短波長の光が発生し、上述の凹凸状の平坦化面CLYの表面から素子外部へ光が出射される。
- [0088] このように、かかる構造を有する本実施例の半導体発光素子1によると、光取り出し面となる平坦化層CLYの表面は、平坦ではなく、多数の微細な逆六角錐形状の凹部cが形成された凹凸状となるために、活性層DLYaで発生した光が該表面で反射して再び発光素子内部へ戻る割合が減少し、光取り出し効率を向上させることができる。
- [0089] また、本実施例の製造方法によれば、多数の微細な六角錐形状の凸部aを予め決められた配列に従って転写層TLYに形成しておき、それら多数の凸部aを平坦化層CLYの表面に転写させて、平坦化層CLYの表面に多数の微細な逆六角錐形状の凹部cを形成するので、所望の放射分布、安定した光取り出し効率を得ることが可能ないわゆる品質の揃った半導体発光素子を量産することが可能であり、更に光取り出し効率の向上を実現することができる。
- [0090] また、本実施例の半導体発光素子1は、光取り出し面としての平坦化層CLYをp型の窒化物半導体で形成する構造ではなく、抵抗率が $10^{-3} \Omega \text{ cm}$ 程度の低抵抗のn型の窒化物半導体で形成する構造となっているため、平坦化層CLYの全面に金属薄膜の半透明電極層やITOなどの透明電極によって電極層5を形成する必要がない。

このため、光取り出し効率の良い半導体発光素子1を提供することができる。

- [0091] また、本実施例の製造方法によれば、上述の基板SSBを剥離すると、短波長の光を吸収する窒化ガリウム(GaN)の下地層ALYの除去と、平坦化層CLYの表面を凹凸状に加工するという両者の処理を一括して行うことができるため、量産性の向上を図ることが可能である。

実施例 2

- [0092] 次に、図6を参照して、他の実施例を説明する。なお、図6において、図2～図5と同一又は相当する部分を同一符号で示している。
- [0093] 第1実施例の半導体発光素子1では、図5(b)を参照して説明したように、平坦化層CLYの表面に多数の微細な逆六角錐形状の凹部cが形成されることで、光取り出し面としての平坦化層CLYの表面が凹凸状となっている。
- [0094] これに対し、本実施例(第2実施例)の平坦化層CLYの表面は、ストライプ状の微細な凹部が多数形成された構造を有している。
- [0095] 本実施例の半導体発光素子1の製造方法及び構造を説明すると、まず、図6(a)の斜視図に示すように、{0001}面を主面とするサファイア基板SSB上に、MOCVD法によって、窒化ガリウム(GaN)から成る下地層ALYを形成した後、下地層ALYの表面に、GaN〈1-100〉又はGaN〈11-20〉の方向に延びる多数のスリット状の開口部OPNを有するマスクMSKを形成する。より具体的には、スパッタリングによって、SiO₂のマスクMSKを形成する。
- [0096] 次に、MOCVD法により、窒化ガリウム(GaN)をマスクMSKの開口部OPNにおける下地層ALY上に選択成長させると共に、マスクMSK上において横方向へも成長させる。
- [0097] このように、窒化ガリウム(GaN)を成長させると、GaNの成長面は図6(b)に示すように{11-22}面となり、各開口部OPNの長手方向に沿った三角柱状の多数の凸条部aが形成される。
- [0098] 更にGaNの成長を進めると、この三角柱の状態を維持したまま凸条部aのサイズが大きくなり、互いに隣接した凸条部aの裾野が接触した状態で成長を停止させる。
- [0099] これにより、図6(c)に示すように、GaN{11-22}面群で構成された三角柱状の凸

条部aによって表面が凹凸状となる転写層TLYを形成する。

[0100] 次に、転写層TLYの表面に、MOCVD法によって、 $\text{In}_x\text{Ga}_{1-x}\text{N}$ (但し、 $x > 0.5$) を積層することにより、転写層TLYの表面形状に合わせられた凹凸状の光吸収層BLYを積層する。更に、光吸収層BLYは、後述のYAGレーザの2倍波(波長532nm)の光が照射される際、その光を吸収して熱に変換する材料とすべく、光吸収層BLY中に非発光性の再結合中心となる不純物、例えばカーボン(C)や鉄(Fe)をドーピングすると、より好ましい。

[0101] 次に、図3(b)を参照して説明した第1実施例と同様に、光吸収層BLY上に、MOCVD法によって、SiをドーピングしたAlGaInを積層し、表面が平坦な平坦化層CLYを形成する。

[0102] 次に、図3(c)を参照して説明したのと同様に、MOCVD法によって、平坦化層CLY上に、 $\text{In}_x(\text{Al}_y\text{Ga}_{1-y})_{1-x}\text{N}$ (但し、 $0 \leq x \leq 1$ 、 $0 \leq y \leq 1$) からなる活性層DLYaと、MgをドーピングしたAlGaInから成るクラッド層DLYbと、MgをドーピングしたAlGaInから成るコンタクト層DLYcを順次に積層することにより、これら各層DLYa、DLYb、DLYcと平坦化層CLYとで構成される成長層4を形成する。

[0103] 更に、コンタクト層DLYcの表面に、Pd/Auのオーミック電極3bを蒸着によって形成することにより、中間生成体100を作製する。

[0104] 次に、図4(a)に示したのと同様に、予めAuSnの電極層3aが形成されている支持基板2のその電極層3aとオーミック電極層3bとを融着させることにより、中間生成体100と支持基板2とを一体に固着させ、次に、サファイア基板SSBの裏面側から光吸収層BLYに向けて、YAGレーザの2倍波(波長532nm)の光を照射する。

[0105] かかる光を照射すると、その光はサファイア基板SSBを透過し、更に下地層ALYと転写層TLYとマスクMSKを通して光吸収層BLYに到達し、光吸収層BLYが光を熱に変換して加熱されることにより、分解される。

[0106] 次に、図4(b)に示したのと同様に、サファイア基板SSBと共に、マスクMSKとGaNの下地層ALY及び転写層TLYを、ガス化した光吸収層BLYの部分で剥離する。

[0107] 次に、図5(a)に示したのと同様に、上述のサファイア基板SSBを剥離した際、残存することとなった光吸収層BLYの残滓に対し、アルカリエッチャントを用いたウェットエ

ツチングを施すことによって除去し、平坦化層CLYの表面を露出させる。

[0108] これによって平坦化層CLYの表面には、AlGaInの{11-22}面群で構成される多数のストライプ状の凹部cが形成され、凹凸状の表面となる。すなわち、転写層TLYに形成されていた多数の凸条部aに応じて、平坦化層CLYの表面には多数のストライプ状の凹部cが形成されるため、平坦化層CLYの表面が凹凸状となる。

[0109] 次に、図5(b)に示したのと同様に、凹凸状の平坦化層CLYの表面(露出面)の一部に、電極層5を積層する。例えば、半導体発光素子の対角を結ぶクロス形状となるように電極層5を形成し、図1(a)に示したのと同様の外観構造を有する半導体発光素子1を完成する。

[0110] ここで、成長層4への電流注入の均一性を向上させるために、平坦化層CLYの表面全体にITOなどの透明電極を電極層5として形成してもよい。

[0111] なお、説明の便宜上、1個の半導体発光素子1を作製する工程を代表して説明したが、実際には、サファイア基板SSB上に複数個の半導体発光素子1を作製するための処理を行った後、支持基板2を裏面側からスクライビングして所定の大きさに分割することによって、予め決められた大きさの半導体発光素子1を複数個形成する。

[0112] そして、電極層3a, 5間に駆動電流を供給すると、成長層4内の活性層DLYaから短波長の光が発生し、多数のストライプ状の凹部cによって凹凸状となっている平坦化層CLYの表面から素子外部へその光が出射される。

[0113] このように、かかる構造を有する本実施例の半導体発光素子1によると、光取り出し面となる平坦化層CLYの表面は、平坦ではなく、多数のストライプ状の凹部cが形成された凹凸状となるために、活性層DLYaで発生した光が該表面で反射して再び発光素子内部へ戻る割合が減少し、光取り出し効率を向上させることができる。

[0114] また、本実施例の製造方法によれば、多数の三角柱状の凸条部aを予め決められた配列に従って転写層TLYに形成しておき、それら多数の凸条部aを平坦化層CLYの表面に転写させて、平坦化層CLYの表面に多数のストライプ状の凹部cを形成するので、所望の放射分布、安定した光取り出し効率を得ることが可能ないわゆる品質の揃った半導体発光素子を量産することが可能であり、更に光取り出し効率の向上を実現することができる。

[0115] また、本実施例の半導体発光素子1は、光取り出し面としての平坦化層CLYをp型の窒化物半導体で形成する構造ではなく、抵抗率が $10^{-3} \Omega \text{ cm}$ 程度の低抵抗のn型の窒化物半導体で形成する構造となっているため、平坦化層CLYの全面に金属薄膜の半透明電極層やITOなどの透明電極によって電極層5を形成する必要がない。このため、光取り出し効率の良い半導体発光素子1を提供することができる。

[0116] また、本実施例の製造方法によれば、上述の基板SSBを剥離すると、短波長の光を吸収する窒化ガリウム(GaN)の下地層ALYの除去と、平坦化層CLYの表面を凹凸状に加工するという両者の処理を一括して行うことができるため、量産性の向上を図ることが可能である。

実施例 3

[0117] 次に、更に他の実施例を図7を参照して説明する。

[0118] 本実施例は、上述の第1実施例と第2実施例において、図4(a) (b)に示したようにサファイア基板SSBを剥離する際、活性層DLYaとクラッド層DLYb及びコンタクト層DLYcを有する成長層4と、平坦化層CLYとに過大な機械的応力がかかるのを未然に防止するための製造方法に関する。

[0119] すなわち、図3(c)に示したのと同様に、中間生成体100を作製する際、光吸収層BLY上に成長層4とオーミック電極3bを形成した後、図7の斜視図にて模式的に示すように、ダイシング等によって、個々の半導体発光素子1と同じ大きさの部分ずつに、オーミック電極3b側から、光吸収層BLYよりも深い切り溝CUTを形成する。

[0120] そして、図4(a)に示したのと同様に、支持基板2に形成されている電極3aと、切り溝CUTが形成されている中間生成体100のオーミック電極3bとを融着させることにより一体化させ、引き続いて、図4(a) (b) 及び図5(a) (b)を参照して説明した工程に従って処理を行った後、上述の切り溝CUTに合わせて、支持基板2を裏面側からスクライビングして所定の大きさにチップ分割することにより、予め決められた大きさの半導体発光素子1を複数個形成する。

[0121] このように、本実施例の製造方法によれば、中間生成体100側に上述の切り溝CUTを予め形成しておくので、図4(b)に示すように基板SSBを剥離する際、平坦化層CLYと成長層4に過大な機械的応力がかかるのを未然に防止することができ、成長

層4に与えるダメージを低減することができる。

[0122] 更に、基板SSB上の成長層4が、切り溝CUTによって予め個々の半導体発光素子1の大きさに合わせて分割されているため、上述の支持基板2の裏面側からスクライピングすると、極めて容易に個々の半導体発光素子1にチップ分割することができ、量産性の向上を図ることができる。

[0123] なお、以上の第1〜第3実施例においては、光取り出し面としての平坦化層CLYの表面を、逆六角錐形状の凹部cを有する凹凸状、又は、ストライプ状の凹部cを有する凹凸状に形成することとしているが、必ずしもこうした凹凸状に限るものではない。例えば、上述のストライプ状の凹部cの代わりに、平坦化層CLYの表面に、縦横方向に延びるいわゆる網目状や格子状の凹部、又は縦横方向に延びるいわゆる網目状や格子状の凸部を形成することで、光取り出し面を凹凸状にしてもよい。

[0124] また、上述したように、第1〜第3実施例において、平坦化層CLYの凹凸状の表面に、電極層5として透明電極又は半透明電極層を形成する場合、これらの電極層を平坦化層CLYの表面の一部に形成してもよいが、平坦化層CLYの表面のほぼ全面に形成してもよい。

[0125] このように、透明電極又は半透明電極層を平坦化層CLYの表面のほぼ全面に形成する構造とした場合には、それらの電極層において光吸収が生じることとなるが、平坦化層CLYが低抵抗率のn型半導体であることに加えて、それら電極層により電流を広げることができるので、より大きなサイズのチップであっても、単一のワイヤボンディングで均一に発光させることができることとなり、透明電極又は半透明電極層における光吸収に勝る、優れた光取り出し効率が得られる。

[0126] また、上述の最良の実施形態並びに第1〜第3の実施例では、窒化物半導体を用いた半導体発光素子及びその製造方法について述べたが、これら実施形態及び実施例は、他の半導体材料を用いた半導体発光素子及びその製造方法にも適用することが可能である。

請求の範囲

- [1] 光を発生する活性層を少なくとも含む窒化物半導体から成る積層構造の発光構造層を備えた半導体発光素子であって、
前記活性層からの光を素子外部へ取り出す主面側において前記発光構造層上に積層され、多数の微細な凹凸から成る表面を有する半導体層と、
前記半導体層の少なくとも一部に形成された第1の電極と、
前記主面に対する前記発光構造層の裏面側に形成された第2の電極とを具備することを特徴とする半導体発光素子。
- [2] 前記微細な凹凸は、前記主面に対して傾斜する複数の微小平面により構成されていることを特徴とする請求項1に記載の半導体発光素子。
- [3] 前記微細な凹凸は、逆六角錐形状の凹部から成ることを特徴とする請求項2に記載の半導体発光素子。
- [4] 前記第1の主面は、窒化物半導体結晶の{0001}又は{000-1}面であり、前記逆六角錐状の各凹部は、実質的に窒化物半導体結晶の{1-101}面により構成されていることを特徴とする請求項3に記載の半導体発光素子。
- [5] 前記第1の主面は、窒化物半導体結晶の{0001}又は{000-1}面であり、前記微細な凹凸は、実質的に窒化物半導体結晶の{11-22}面により構成されていることを特徴とする請求項2に記載の半導体発光素子。
- [6] 前記半導体層は、n型の窒化物半導体で形成され、
前記発光構造層は、前記裏面側からp型の窒化物半導体から始まってn型の窒化物半導体で終わる前記多層構造により形成されていることを特徴とする請求項1〜5の何れか1項に記載の半導体発光素子。
- [7] 前記発光構造層と前記半導体層は、V族元素が窒素(N)からなる窒化物系III-V族化合物半導体で形成されていることを特徴とする請求項1〜6の何れか1項に記載の半導体発光素子。
- [8] 前記第2の電極に支持部材が接合されていることを特徴とする請求項1〜7の何れか1項に記載の半導体発光素子。
- [9] 前記第2の電極と前記支持部材は、前記支持部材に形成された接合用金属層を

介して接合されていることを特徴とする請求項8に記載の半導体発光素子。

[10] 前記第1の電極は、透明電極であることを特徴とする請求項1〜9の何れか1項に記載の半導体発光素子。

[11] 半導体発光素子の製造方法であって、
基板上に下地層を形成する第1の工程と、
前記下地層上に、多数の微細な開口部を有するマスクを形成する第2の工程と、
前記各開口部での選択成長及び前記マスク上での横方向成長により、前記基板平面に対し傾斜した複数の微小平面により構成される多数の凸部を有する凹凸状の転写層を形成する第3の工程と、
前記凹凸状の転写層上に、前記下地層及び前記転写層より小さいバンドギャップエネルギーを有する光吸収層を形成する第4の工程と、
前記光吸収層上に、成長主面が平坦な平坦化層を形成する第5の工程と、
前記平坦化層上に、少なくとも活性層を有する発光構造層を形成する第6の工程と、
、
前記光吸収層に到達する光を前記基板の裏面側から照射することにより前記光吸収層を分解させ、前記平坦化層から前記基板と下地層及び転写層を剥離する第7の工程とを具備し、
前記平坦化層を、前記活性層で発生する光を素子外部へ取り出す光取り出し面とすることを特徴とする半導体発光素子の製造方法。

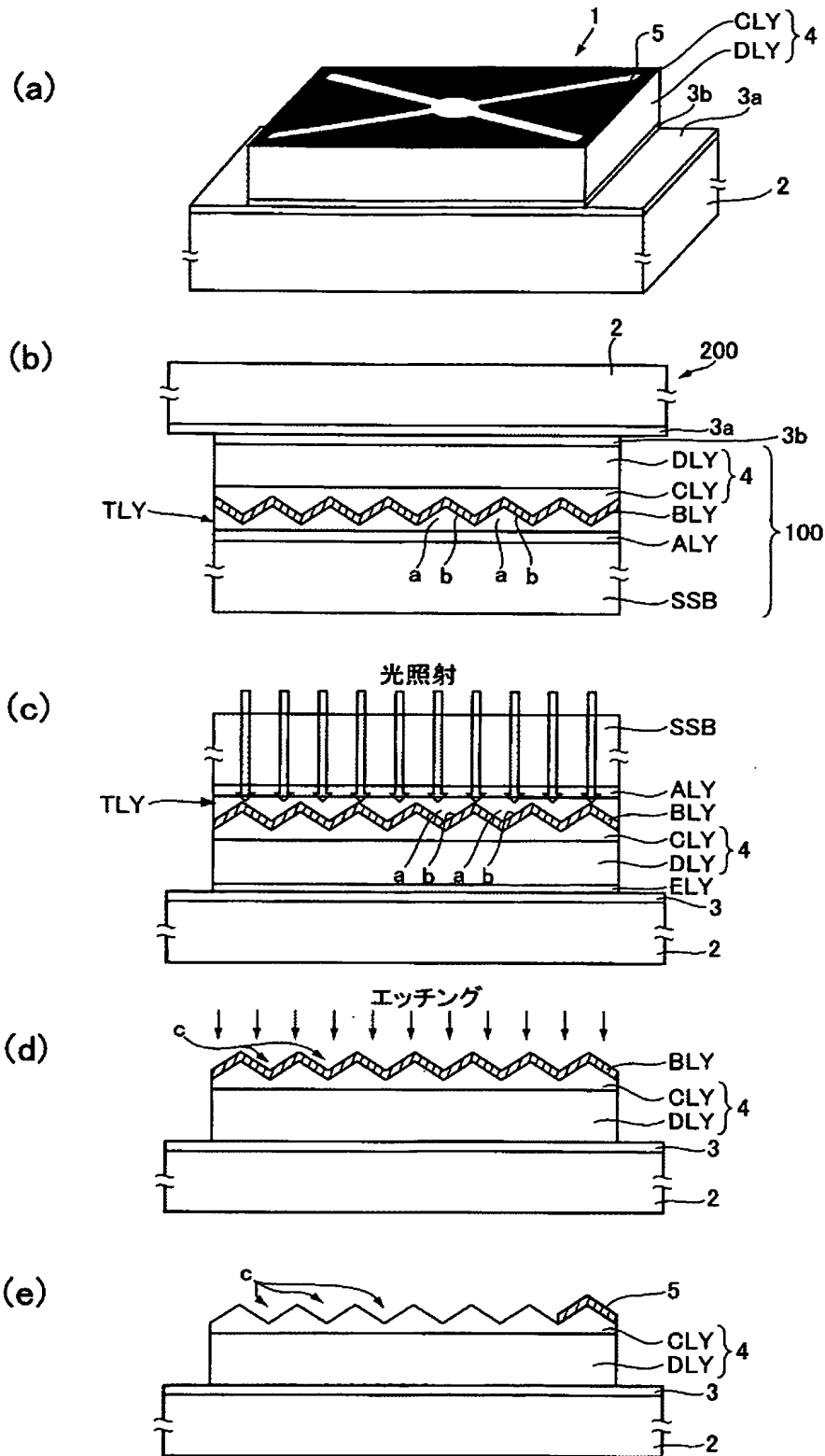
[12] 前記第5の工程において、前記平坦化層をn型の窒化物半導体で形成し、
前記第6の工程において、前記発光構造層を、前記平坦化層側からn型の窒化物半導体から始まってp型の窒化物半導体で終わる多層構造により形成することを特徴とする請求項11に記載の半導体発光素子の製造方法。

[13] 前記下地層、前記転写層、前記光吸収層、前記平坦化層及び前記発光構造層は、V族元素が窒素(N)からなる窒化物系III-V族化合物半導体であることを特徴とする請求項11又は12に記載の半導体発光素子の製造方法。

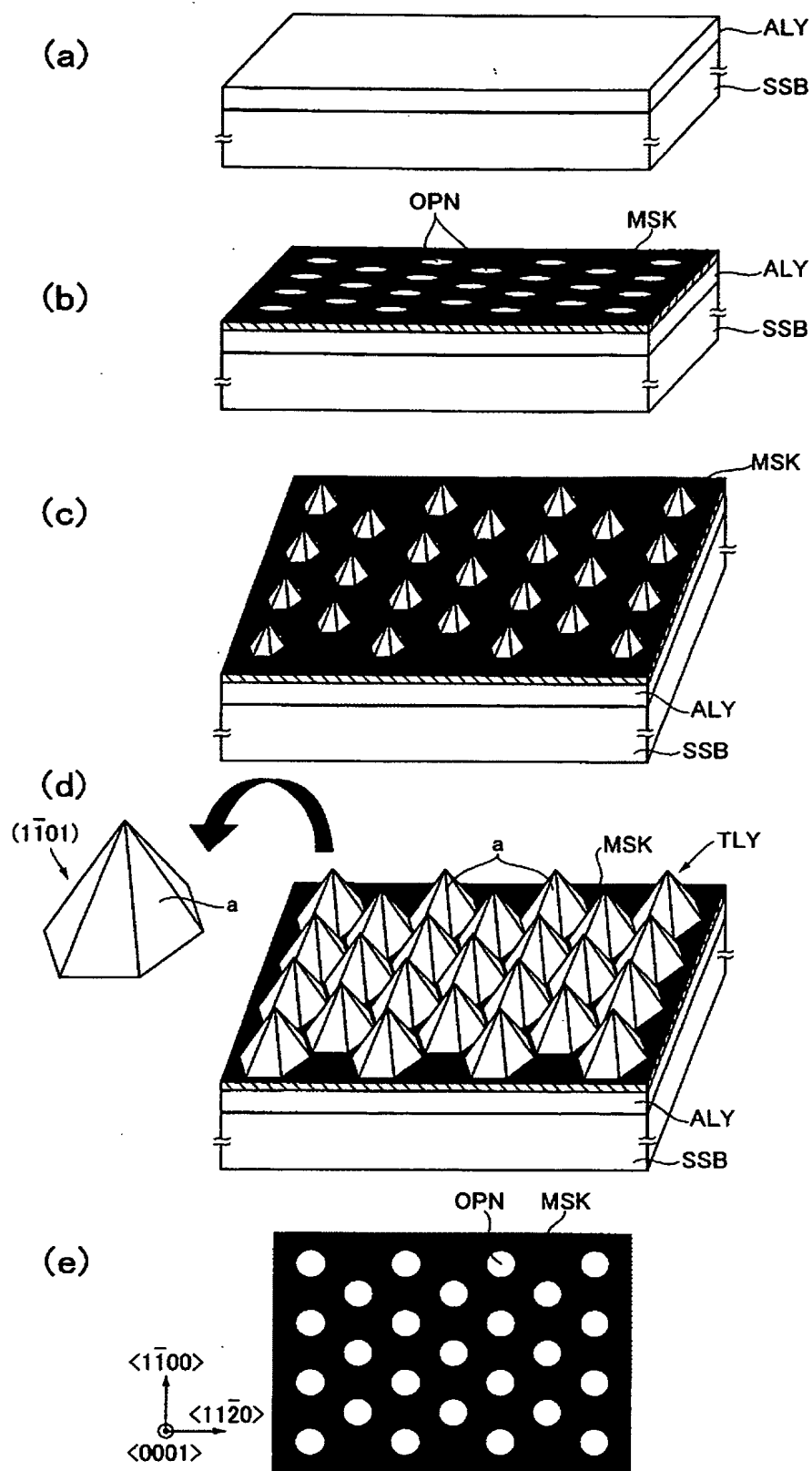
[14] 前記光吸収層は、InGaNであることを特徴とする請求項11〜13の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法。

- [15] 前記基板は、主面が{0001}面であるサファイア、GaN、AlN、SiCのうちの何れかであることを特徴とする請求項11～14の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法。
- [16] 前記第2の工程において、前記マスクの開口部を、最近接の開口部が前記下地層の〈1-100〉方向に位置し、全ての開口部の中心が六角回転対称中心となるように形成することを特徴とする請求項11～15の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法。
- [17] 前記第2の工程において、前記マスクの開口部を、前記下地層の結晶軸〈1-100〉又は〈11-20〉と平行のストライプ形状に形成することを特徴とする請求項11～15の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法。
- [18] 前記光吸収層は、非発光性の再結合中心となる不純物を含む半導体、または間接遷移型の半導体であることを特徴とする請求項11～17の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法。
- [19] 前記第7の工程において、前記基板の裏面側から照射する光のエネルギーは、前記下地層及び前記転写層のバンドギャップエネルギーより小さく、前記光吸収層のバンドギャップエネルギーより大きいことを特徴とする請求項11～18の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法。
- [20] 前記第7の工程において、前記基板の裏面側から照射される光の波長は、360nm以上であることを特徴とする請求項11～19の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法。
- [21] 前記第6の工程と前記第7の工程の間に、前記光構造層側の表面を支持部材に固着する工程を具備することを特徴とする請求項11～20の何れか1項に記載の半導体発光素子。
- [22] 前記第6の工程と前記第7の工程の間に、前記発光構造層側に、個々の半導体発光素子の大きさに区分けする切り溝を形成する工程を具備することを特徴とする請求項11～21の何れか1項に記載の半導体発光素子の製造方法。

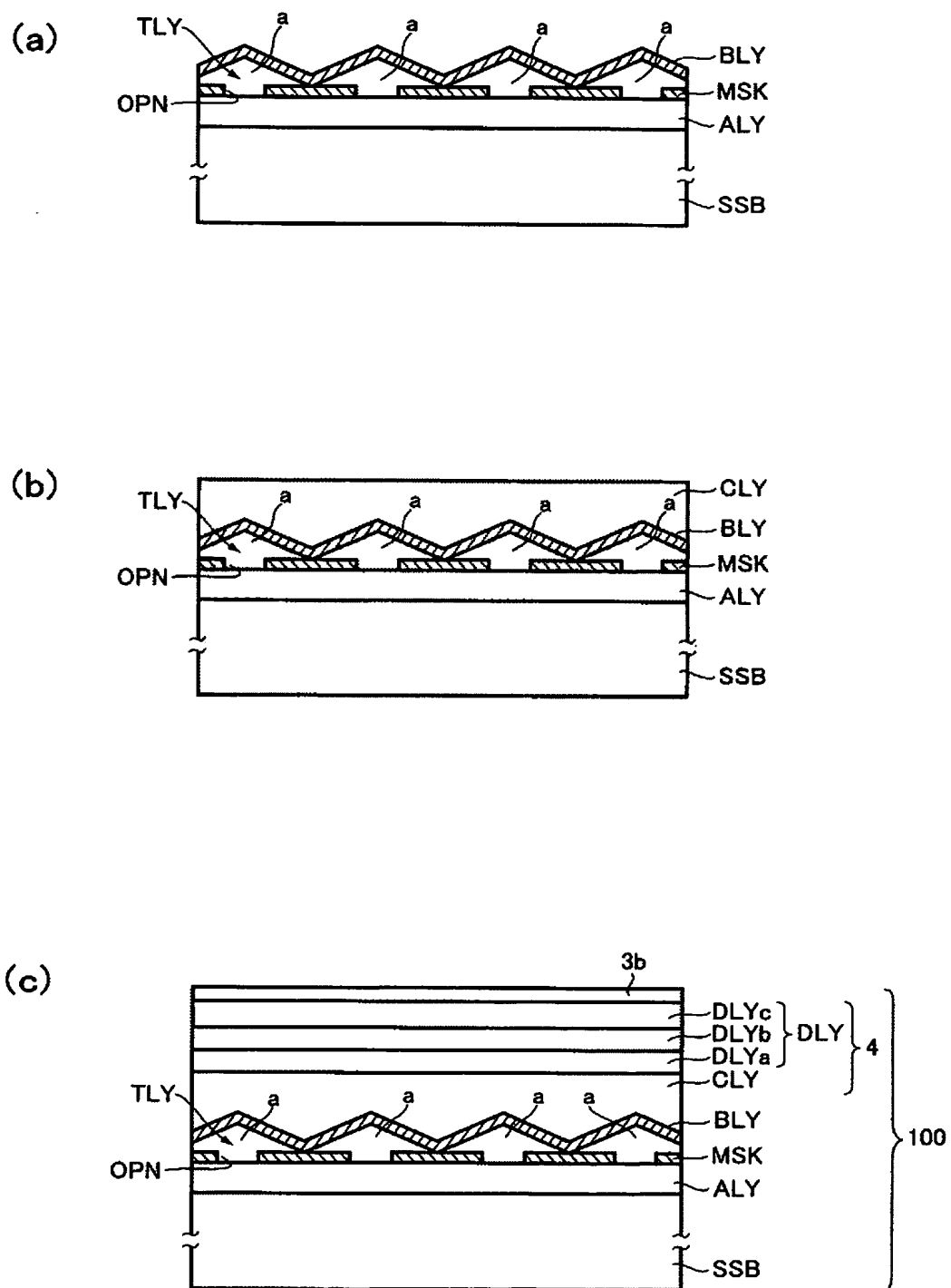
[図1]



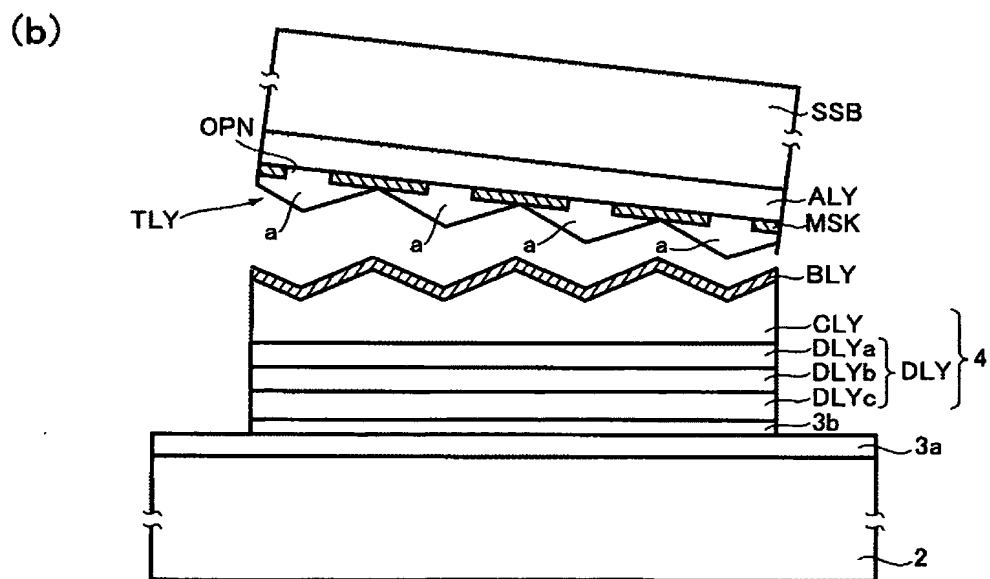
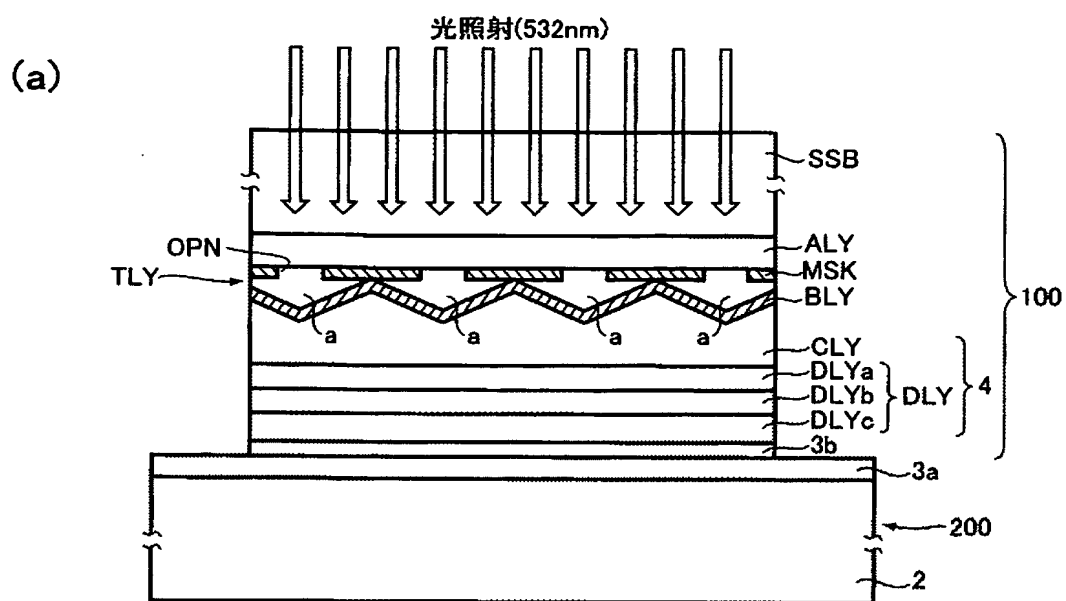
[図2]



[図3]

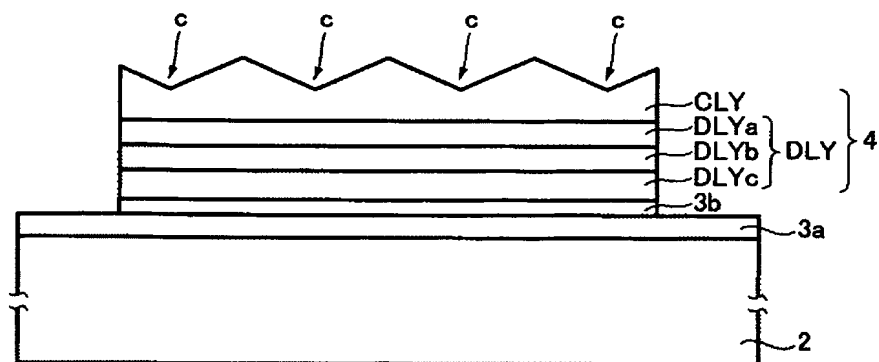


[図4]

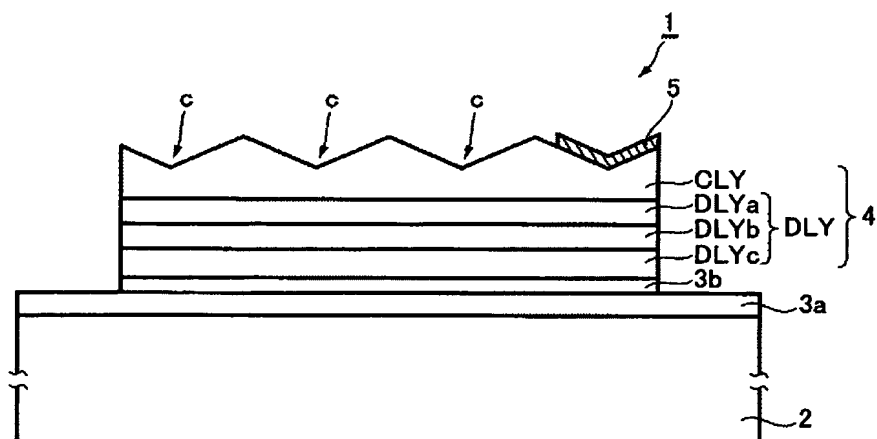


[図5]

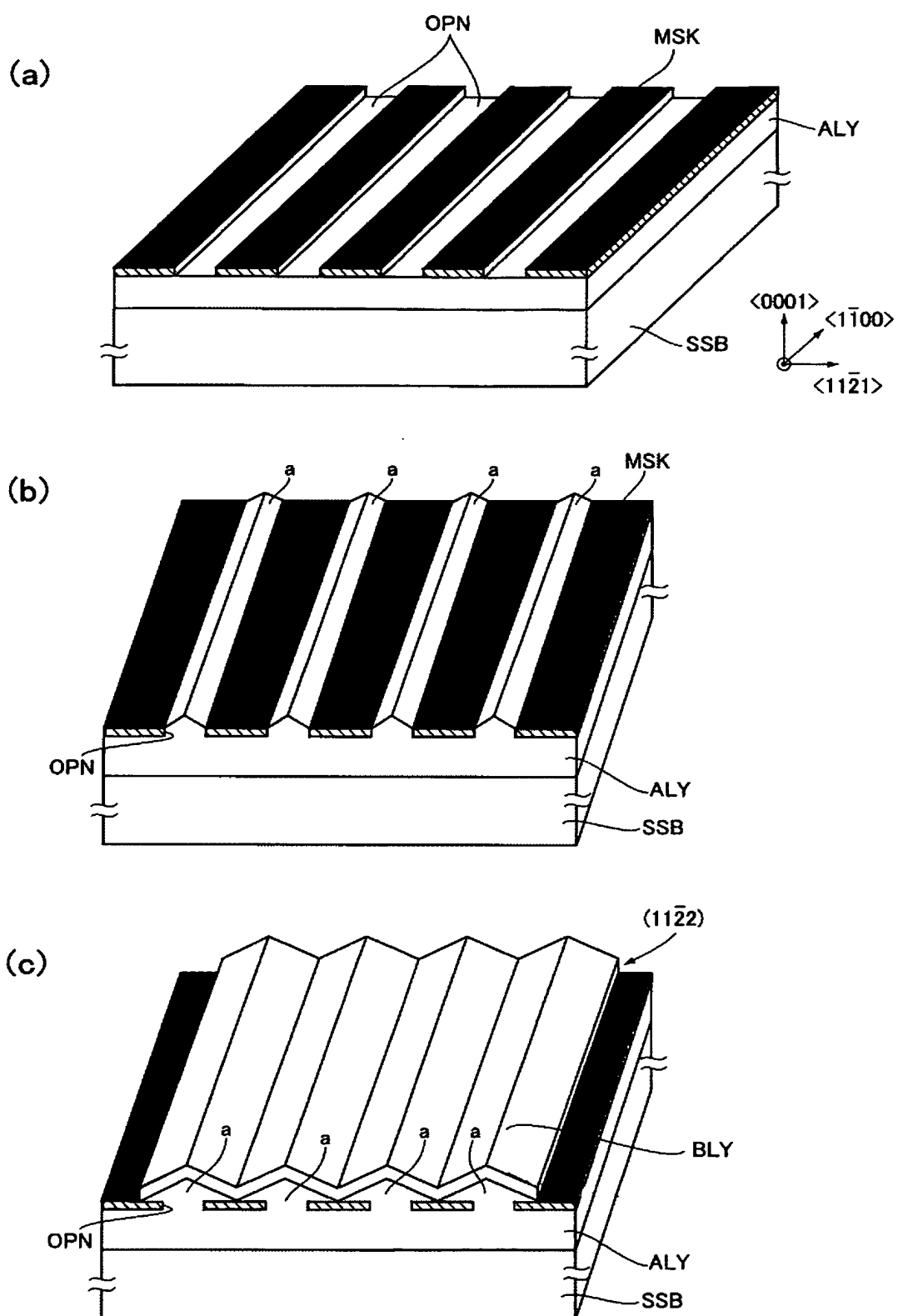
(a)



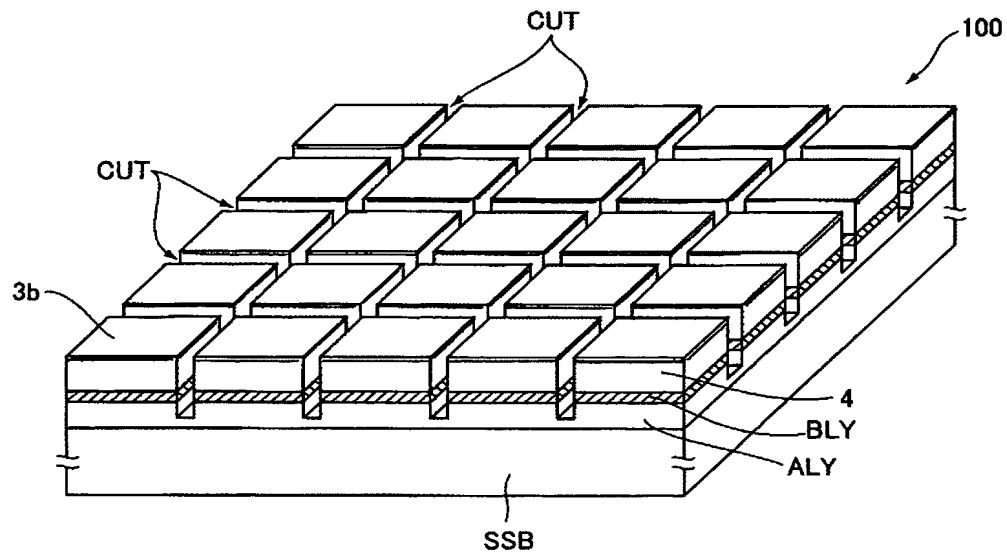
(b)



[図6]



[図7]



**This Page is Inserted by IFW Indexing and Scanning
Operations and is not part of the Official Record**

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images include but are not limited to the items checked:

- ☐ **BLACK BORDERS**
- ☐ **IMAGE CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES**
- ☐ **FADED TEXT OR DRAWING**
- ☐ **BLURRED OR ILLEGIBLE TEXT OR DRAWING**
- ☐ **SKEWED/SLANTED IMAGES**
- ☐ **COLOR OR BLACK AND WHITE PHOTOGRAPHS**
- ☐ **GRAY SCALE DOCUMENTS**
- ☒ **LINES OR MARKS ON ORIGINAL DOCUMENT**
- ☐ **REFERENCE(S) OR EXHIBIT(S) SUBMITTED ARE POOR QUALITY**
- ☐ **OTHER:** _____

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

As rescanning these documents will not correct the image problems checked, please do not report these problems to the IFW Image Problem Mailbox.